

明 細 書

カムシャフトの製造方法、カムシャフト及びこれに用いるカムロブ材
技術分野

[0001] 本発明は、内燃機関に用いられるカムシャフトの製造方法、カムシャフト及びこれに用いるカムロブ材に関する。

背景技術

[0002] 内燃機関(エンジン)の動弁装置において、カムシャフトが用いられている。こうした内燃機関において、カムシャフトやロッカーアーム等の部品は、運転中に高速で摺動することから、耐摩耗性、耐ピッチング性および耐スカuffing性等の摺動特性が要求されている。

[0003] このため、従来より、鋳造時にカムノーズ部分に冷やし金を用いて急速凝固させ、カムノーズの表面部分に固い白鑄鉄組織を形成したチルカムを備えるカムシャフトが用いられている。このチルカムシャフトは、外周表面に固いチル組織を有するため、優れた耐摩耗性及び耐スカuffing性を有するものである。

[0004] 一方、近年においては、エンジンの軽量化を目的として、組立カムシャフトが多く用いられている。この組立カムシャフトのカムロブとシャフトとの接合には、弾性嵌め(カムロブの弾性変形、シャフトの塑性変形を利用して接合すること)、圧入等の工法が多く用いられている。これらの工法は、カムロブの内径よりシャフトの外径を小さくした状態でカムロブをシャフトの所定位置に設置し、熱膨張や弾性力等を利用して、シャフトの外径をカムロブの内径よりも大きく拡張して、シャフトをカムロブの内周円にはめ込み、その際の接触圧力を利用し、その摩擦力によりシャフトとカムロブを接合させるものである。シャフト外径拡張前のカムロブの内径と、シャフト外径拡張後のシャフトの外径との差(以下、締め代という。)を大きくすると、接触圧力が増え、シャフトとカムロブとの接合力が大きくなる。

[0005] また、エンジンの軽量化、コンパクト化を図るために、カムシャフトを軽量、小型にすることができる。そのために、カムロブのベース肉厚(カムベース部分の内周面と外周面との間の厚み)を小さくすること、カムロブの幅(カムシャフトにおけるシャフトと平行

な方向のカムロブの幅)を小さくすることが有効である。

[0006] ここで、カムをスチールパイプに接合する前に、鋼製カムロブの外周全体を誘導加熱によって表面硬化させ、外周表面区域に内部圧縮応力を付加させた鋼製カムロブ(A)が知られている(例えば、特許文献1参照)。この鋼製カムロブ(A)は、耐ピッチング性が高められたものである。

[0007] また、カムロブ全体を高周波焼入し、焼入による残留圧縮応力の不足した箇所(フランク部分)にショットピーニングが施された鋳鉄カムシャフト(B)が知られている(例えば、特許文献2参照)。この焼入による残留圧縮応力の不足した箇所は、具体的には、カムロブ外周面におけるカムベース部分とカムノーズ部分の間の部分である。

[0008] さらに、カムをスチールパイプに弾性嵌め、圧入(焼嵌め)接合する工法において、焼結カムを油中にて焼入硬化させ、かつ焼戻しをした組立カムシャフト(C)や、鍛造された鋼製カムロブの外周全体を硬化し、かつ、焼きなますことにより、カムロブの外周全体を硬化した組立カムシャフト(D)が知られている(例えば、特許文献3、特許文献4参照)。このうち、組立カムシャフト(C)は、その製造方法のため、カムロブの外周面だけでなく内周面にも硬化処理がされており、硬化性が良く、焼戻しによってもロックウェル硬度が大きく低下せず、優れた回転曲げ強さを有し、耐用時間が長いものであるが、積極的に内周面に残留圧縮応力付加処理を施したものではない。また、熱間鍛造及び焼きなましによる(D)の鋼製カムロブは、カムロブ外周表面区域だけが硬化処理されているが、積極的に内周面に残留圧縮応力付加処理を施したものではない。

特許文献1:特開平8-4880号公報

特許文献2:実開平3-45950号公報

特許文献3:特公平5-61347号公報

特許文献4:特許3197613号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] 前述のチルカムシャフトにおいては、耐摩耗性及び耐スカuffing性を有するものの、耐ピッチング性に劣るという問題があった。

- [0010] また、エンジンの軽量化を考慮して、カムロブのベース肉厚を小さくする場合、同一の締め代でカムロブの肉厚を小さくすると、カムロブの内周から割れが生じたり、カムロブ外周に引張応力がかかり、繰返し接触疲労強度の低下を招く。
- [0011] 同様に、カムロブの幅を小さくした場合、同一の接合トルク(シャフトがカムロブを回転させるために必要な力)を得るためには、締め代を大きくする必要がある。その結果、ベース肉厚を小さくする場合と同様に、カムロブに割れが生じたり、カムロブ外周の繰返し接触疲労強度の低下を招く。
- [0012] このように、カムロブの形状を変更した場合、使用されるエンジンの種類が限定されてしまい、カムロブの設計の自由度に欠けるといった問題があった。
- [0013] 一方、外周全体を誘導加熱により表面硬化させたカムロブ(A)は、外周表面区域に内部圧縮応力を付加したが、スチールパイプを拡張して接合するために、その内周面にある程度の弾性的な変形性が必要となる。そのため、カムのスチールパイプへの接合後のカム接合により生ずる外周表面区域の引張応力により、内部圧縮応力が重畳され、外周表面区域に内部圧縮応力が残る。一方、このカムの内周面は、接合により引張応力が残る。
- [0014] また、焼入をしたカムロブにショットピーニングを施した鋳鉄カムシャフト(B)も、外周全体の表面区域に残留圧縮応力を付加させたものであり、上述の外周全体を誘導加熱により表面硬化させたカムロブと同様に、その内周面にある程度の弾性的な変形性が必要となるという問題がある。
- [0015] これらのカムシャフトや、焼結合金を油中にて焼入硬化させ、かつ焼戻しをした組立カムシャフト(C)、鍛造により鋼製カムロブの外周全体を硬化し、かつ焼きなましをした組立カムシャフト(D)は、カムロブの外周表面が硬化されることにより、耐ピッチング性を有するものの、上述のカムロブのベース部肉厚や幅における設計の自由度の問題を解決できるものとはなっていなかった。
- [0016] そこで、本発明は、こうした問題点を解決し、カムロブのシャフトとの接合時における割れを防止し、カムロブの設計の自由度を向上させたカムシャフトの製造方法、カムシャフト及びこれに用いるカムロブ材を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0017] 上記課題を解決する本発明のカムシャフトの製造方法は、カムロブの内周面に残留圧縮応力付加処理を行った後、前記カムロブをシャフトに接合することを特徴とする。
- [0018] この発明によれば、カムロブの内周面に残留圧縮応力付加処理をすることにより、その処理面に、残留圧縮応力を付与することができる。その結果、カムロブの内周面にシャフトを挿入して組み立てる際、その内周面が耐えられる応力の余裕を広げることができる。このことにより、カムロブにシャフトを接合する際に、カムロブの割れが生じにくく、カムロブのベース肉厚を小さくしたり、カムロブの幅を小さくすることができ、カムロブの設計の自由度が増す。また、締め代を増加させることができ、動的接合トルクを向上させることができる。
- [0019] 上記本発明においては、前記カムロブの内周面の残留圧縮応力が、100MPa以上であることを特徴とする。
- [0020] この発明によれば、カムロブの内周面の残留圧縮応力が所定の値以上であるため、上述の効果を顕著に奏するカムシャフトを提供することができる。
- [0021] 上記本発明においては、前記カムロブの外周面に、更に残留圧縮応力付加処理を行った後、前記カムロブを前記シャフトに接合することを特徴とする。
- [0022] この発明によれば、カムロブの外周面にも残留圧縮応力が付与されているため、上述の各作用に加え、カムシャフトの繰返し接触疲労強度が向上し、製造したカムシャフトを実動させた際のピッチング摩耗が生じにくくなる。
- [0023] 上記本発明においては、前記カムロブの外周面の残留圧縮応力が、100MPa以上であることを特徴とする。
- [0024] この発明によれば、カムロブの外周面の残留圧縮応力が所定の値以上であるため、上述の効果を顕著に奏するカムシャフトを提供することができる。
- [0025] 上記本発明においては、前記残留圧縮応力付加処理が、ショットピーニング処理（ショットブラスト処理）、高周波焼入処理、バレル研磨処理、浸炭焼入処理又は浸炭窒化処理の少なくともいずれかであることを特徴とする。
- [0026] この発明によれば、ショットピーニング処理（ショットブラスト処理）又は高周波焼入処理によると、カムロブの内周面のみに残留圧縮応力を付与することができ、上述の

各作用を奏するカムシャフトを提供することができる。また、これらの処理によると、カムロブの内周面と外周面に、異なる処理によっても残留圧縮応力を付与することができる。また、バレル研磨処理、浸炭焼入処理又は浸炭窒化処理によると、カムロブの内周面と外周面に、同時に残留圧縮応力を付与することができる。このようにして、上述の各作用を有するカムシャフトを提供することができる。

[0027] また、上記課題を解決するカムシャフトは、内周面に残留圧縮応力付加処理が施されたカムロブを有することを特徴とする。

[0028] この発明によれば、カムロブの内周面に残留圧縮応力付加処理が施されたことにより、その処理面に、残留圧縮応力を付与することができる。その結果、カムロブの内周面にシャフトを挿入して組み立てる際、その内周面が耐えられる応力の余裕を広げることができる。このことにより、カムロブにシャフトを接合する際に、カムロブの割れが生じにくく、カムロブのベース肉厚を小さくしたり、カムロブの幅を小さくすることができ、カムロブの設計の自由度が増す。また、カムロブをシャフトに接合する際の締め代を増加させることができ、動的接合トルクを向上させることができる。

[0029] また、上記課題を解決するカムロブ材は、内周面に残留圧縮応力付加処理が施されたことを特徴とする。

[0030] この発明によれば、カムロブの内周面に残留圧縮応力付加処理が施されたことにより、その処理面に、残留圧縮応力を付与することができる。その結果、カムロブの内周面にシャフトを挿入して組み立てる際、その内周面が耐えられる応力の余裕を広げることができる。このことにより、カムロブにシャフトを接合する際に、カムロブの割れが生じにくく、カムロブのベース肉厚を小さくしたり、カムロブの幅を小さくすることができ、カムロブの設計の自由度が増す。また、締め代を増加させることができ、動的接合トルクを向上させることができる。

発明の効果

[0031] 本発明のカムシャフトの製造方法によれば、カムロブの内周面に残留圧縮応力付加処理をすることにより、その処理面に、残留圧縮応力を付与することができる。その結果、カムロブの内周面にシャフトを挿入して組み立てる際、その内周面が耐えられる応力の余裕を広げることができる。このことにより、カムロブにシャフトを接合する際

に、カムロブの割れが生じにくく、カムロブのベース肉厚を小さくしたり、カムロブの幅を小さくすることができ、カムロブの設計の自由度が増す。また、締め代を増加させることができ、動的接合トルクを向上させることができる。さらに、カムロブの外周面にも残留圧縮応力を付与することにより、カムシャフトの繰返し接触疲労強度が向上し、製造したカムシャフトを実動させた際のピッチング摩耗が生じにくくなる。

図面の簡単な説明

- [0032] [図1]本発明のカムロブの一例を示す断面図及び平面図である。
[図2]本発明のカムシャフトの一例を示す部分斜視図である。
[図3]実施例における試験片のピッチング発生回数の測定試験を行う態様を表す模式図である。
[図4]実施例におけるピッチング発生回数測定試験の結果を表すグラフである。
[図5]実施例における内部残留応力分布を示す模式図である。
[図6]実施例におけるピッチング発生回数測定試験前後の試験片のオーステナイト量を示すグラフである。

符号の説明

- [0033] 1 カムロブ
11 カムノーズ部
12 カムベース部
13 カムロブ内周面
14 カムロブ外周面
15 カムロブ内周円
16 カムベース部肉厚
17 カムロブの幅
2 カムシャフト
3 シャフト
4 試験片
41 試験片の回転方向
5 試験の相手材

51 相手材の回転方向

6 潤滑油

7 荷重

○ カムロブ内周円の中心

発明を実施するための最良の形態

[0034] 以下に、図面を参照して本発明のカムシャフトの製造方法について説明する。

[0035] まず、図1は、本発明に用いられるカムロブ1の内周円15の中心Oとカムノーズ部11の先端を通る断面図及びカムロブ1の正面図を示す。図2は、本発明により製造されたカムシャフト2の一例を示す。なお、図3～図6は、実施例に関するものであるため、後述する。

[0036] 本発明のカムシャフト2の製造方法は、カムロブ1の内周面13に残留圧縮応力付加処理を行った後、そのカムロブ1をシャフト3に接合するものである。なお、カムロブ1の内周面13とは、カムロブ1をカムシャフト2に用いた場合にシャフト3と接合する部分をいう。

[0037] このように残留圧縮応力付加処理を施した後における、カムロブ1の内周面13の残留圧縮応力は、100MPa以上である。この上限値は特に限定されないが、通常、1200MPaである。また、カムロブ1の内周面13の残留圧縮応力は、好ましくは、300～1000MPa程度である。なお、この残留圧縮応力は、X線回折による応力測定により測定される。

[0038] このように、カムロブ1の内周面13に残留圧縮応力を付与することにより、カムロブ1の内周円15にシャフト3を挿入して組み立てる際、その内周面13が耐えられる応力の余裕を広げることができる。このことにより、カムロブ1にシャフト3を接合する際に、カムロブ1の割れが生じにくく、カムロブ1のベース肉厚16を小さくしたり、カムロブ1の幅17を小さくすることができ、カムロブ1の設計の自由度が増す。そのため、本発明によるカムシャフトを軽量化することもでき、様々なタイプのエンジンに使用することができる。また、締め代を増加させることができ、動的接合トルクを向上させることができる。

[0039] また、本発明のカムシャフト2の製造方法においては、カムロブ1の内周面13の他、

カムロブ1の外周面14にも、残留圧縮応力付加処理を行うことができる。なお、カムロブ1の外周面14とは、カムロブ1をカムシャフト2に用いた場合にカムフォロワと摺動する面をいう。この残留圧縮応力付加処理は、上述の、カムロブ内周面13に対する処理として説明したものと同様である。

- [0040] このように残留圧縮応力付加処理を施した後における、カムロブ1の外周面14の残留圧縮応力は、100MPa以上である。この上限値は特に限定されないが、通常、1200MPaである。また、カムロブ1の外周面14の残留圧縮応力は、好ましくは、300〜1000MPa程度である。なお、この残留圧縮応力は、上述のカムロブ内周面13についての方法と同様に測定される。
- [0041] このように、カムロブ1の外周面14にも残留圧縮応力を付与することにより、カムシャフト2の繰返し接触疲労強度が向上し、製造したカムシャフト2を実動させた際のピッチング摩耗が生じにくくなる。
- [0042] ここで、残留応力付加処理とは、カムロブ1の内周面13のみまたは内周面13と外周面14とに残留圧縮応力を付加することができる処理であれば、特に限定されないが、具体的には、ショットピーニング処理(ショットブラスト処理)、高周波焼入処理、バレル研磨処理、浸炭焼入処理、浸炭窒化処理等が挙げられる。
- [0043] ショットピーニング処理(ショットブラスト処理)は、通常、カムロブ材1の表面(内周面13のみ、または内周面13と外周面14)にショットできるようにノズルを調整し、スチール、ガラスビーズ等のグリッドを、 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の圧力で圧縮空気や遠心力などによりカムロブ材1の表面にぶつけることにより処理が行われる。
- [0044] 高周波焼入処理とは、カムロブ材1の処理する表面部分(内周面13のみ、または内周面13と外周面14)を誘導加熱により Ac_3 又は Ac_1 変態点以上の適当な温度に加熱した後、適当な冷却剤で冷却し、さらに硬さを調節し、じん性を増すために、 Ac_1 変態点以下の適当な温度に加熱した後、冷却する処理である。
- [0045] 以上説明した、ショットピーニング処理(ショットブラスト処理)又は高周波焼入処理によると、カムロブ1の内周面13にのみ残留圧縮応力を付与することができる他、カムロブ1の内周面13と外周面14に同一の処理によって残留圧縮応力を付与することができ、また、カムロブ1の内周面13と外周面14にそれぞれ異なる処理によって残留

圧縮応力を付与することもできる。

- [0046] バレル研磨処理とは、カムロブ材1と研磨助剤やけい砂等の研磨材とともに回転させるか又はカムロブ材1を振動容器に入れ、振動させて、カムロブ材1の内周面13と外周面14とを研磨することをいう。
- [0047] また、浸炭焼入処理とは、カムロブ材1を、炭素を含む媒剤中で加熱し、その表面の炭素含有量を増して硬化させた後、焼入によってカムロブ材1の表面を硬化させる処理をいう。
- [0048] 浸炭窒化処理とは、カムロブ材1を、炭素及び窒素を含む媒剤中で加熱し、その表面に炭素と窒素を浸透させて、表面を硬化させる処理をいう。
- [0049] これらのバレル研磨処理、浸炭焼入処理又は浸炭窒化処理によると、カムロブ1の内周面13と外周面14に、同時に残留圧縮応力を付与することができる。
- [0050] このようにして所定の処理が施されたカムロブ1は、シャフト3に接合されることにより、図2に示すような組立カムシャフト2が得られる。具体的には、例えば、シャフト3の所定位置に所定角度で、カムロブ1を焼きばめ又は冷やしばめによって組み付け、固定することによって得られる。この焼きばめ及び冷やしばめは、組立精度、安価な設備費の点で好ましく用いられる。
- [0051] このようにして製造されるカムシャフト2における接合トルクは、通常、100〜500N・m程度、好ましくは150〜400N・m程度である。接合トルクは、ネジリ試験により測定される値である。
- [0052] なお、こうして製造されるカムシャフト2は、上述の本発明によるカムロブ1のみを備えてもよいし、本発明によるカムロブ1と、他の性質(摺動特性等)を有するカムロブとを備えるものとしてもよい。
- [0053] 本発明のカムロブ1の製造方法によれば、このようにして、カムロブ1に割れが生じにくく、その設計に自由度があり、種々のエンジン、例えば、軽量でコンパクトなエンジンや高負荷のかかるエンジンにも使用が可能であるカムシャフト2を提供することができる。
- [0054] ここで、上述の本発明に用いるカムロブ1の成分組成は、特に限定されないが、例えば、C(炭素):0.8〜1.2質量%、Ni(ニッケル):0.5〜4.0質量%、Mo(モリブデ

ン):0.1-2.0質量%及び残部が不可避免の不純物を含有する鉄系焼結合金等を用いることができる。残部の不可避免の不純物は、原料粉末に混入する微量の不純物の他、焼結用粉末に添加されるステアリン酸亜鉛のような潤滑剤やその他の添加成分の残留物も含まれる。

[0055] 本発明の製造方法において用いられるカムロブ材1の密度は、特に限定されないが、通常、 $7.3-7.6\text{g}/\text{cm}^3$ 程度である。密度がこの程度であると、強度、耐ピッチング性の点で好適なカムロブ材が提供でき、高負荷のかかるエンジンにも使用できる。

[0056] また、本発明の製造方法において用いられるカムロブ材1の外周面14(残留応力付加処理を施した面)の硬度は、特に限定されないが、通常、ロックウェル硬さHRCが50-55程度である。硬さがこの程度であると、カムシャフト2が好適な耐摩耗性を有するものとなる。

[0057] また、本発明の製造方法において用いられるカムロブ材1は、カムシャフト2として用いる前のオーステナイト量が3.0-35体積%程度である。また、このカムロブ材1をカムシャフト2に用いて実動(摺動)させた後のオーステナイト量が2.0-20体積%程度である。このようにオーステナイト量が摺動前より後の方が減少することから、加工誘起マルテンサイト変態が行われたと考えられる。

[0058] 本発明の製造方法において用いられるシャフト3の材質は、通常、内燃機関のカムシャフト2として用いられているものであれば特に限定されないが、例えば、S45C等からなる材質のものが用いられる。

[0059] また、上述の本発明に用いられるカムロブ1は、残留圧縮応力付加処理を行う前に、以下のようにして作製される。まず、最終的に所望の成分組成になるように、鉄系合金粉末を配合、調製する。そうした鉄系合金粉末を、各成分が均等に混ざるように混合し、例えば図1に示すような所定のカムの形状に圧縮成形した後、焼結を行う。この圧縮成形と、焼結は、2回以上行ってもよい。なお、2回目以降の圧縮成形は、焼結の後に行われる。

[0060] ここで、上述のように少なくともカムロブ1の内周面13に残留圧縮応力付加処理を行ったカムロブ1は、本発明のカムロブとなる。また、上述のように少なくともカムロブ1

の内周面13に残留圧縮応力付加処理を行ったカムロブ1を備えたカムシャフト2は、本発明のカムシャフトとなる。

実施例

[0061] 以下に、実施例と比較例によって本発明をさらに具体的に説明する。

[0062] (実施例1)

二次焼結後に、C:0.8質量%, Ni:3.5質量%, Mo:0.3質量%と、残部がFe及び不可避免的不純物からなる鉄系合金粉末を調製し、さらに、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を加えて混合した。次に、5〜7ton/cm²の面圧でカムロブ1の形状に圧縮成形(一次成形)し、次いで、真空焼結炉内で、600〜900℃で仮焼結(一次焼結)を行った。さらに、7〜10ton/cm²の面圧で圧縮成形(二次成形)し、次いで、真空焼結炉内で、1100〜1200℃で本焼結(二次焼結)を行った。次いで、この焼結体に焼入焼戻し処理(900℃で100分加熱した後、油冷し、さらに150℃で60分加熱した後、空冷)処理を行い、カムロブ材1を作製した。

[0063] 実施例1-1として、実施例1と同様にして本焼結(二次焼結)した後、カムロブ材内周面13にのみ残留圧縮応力付加処理(ショットピーニング処理)を行い、カムロブ材1を作製した。また、実施例1-2として、実施例1と同様にして本焼結(二次焼結)した後、カムロブ材内周面13および外周面14に残留圧縮応力付加処理(高周波焼入)を行い、カムロブ材1を作製した。

[0064] (実施例2〜5)

二次焼結後に表1に示すような成分組成となる鉄系合金粉末から、実施例1と同様にして焼結体を作製し、実施例1と同様の熱処理を行い、実施例2〜5のカムロブ材1を得た。

[0065] 各実施例-1について、実施例1-1と同様にしてカムロブ材内周面13のみに残留圧縮応力付加処理を行い、カムロブ材1を作製した。また、各実施例-2について、実施例1-2と同様にしてカムロブ材内周面13および外周面14に残留圧縮応力付加処理を行い、カムロブ材1を作製した。

[0066] (比較例1〜5)

実施例1と成分組成および製造方法を同様にして焼結体を作製し、残留圧縮応力

付加処理を行わない、比較例1のカムロブ材を得た。同様に、実施例2〜5と成分組成および製造方法を同様にして焼結体を作製し、残留圧縮応力付加処理を行わない、比較例2〜5のカムロブ材を得た。

[0067] (比較例6)

最終の成分組成が、C:3.4質量%、Si:2.0質量%、Mn:0.7質量%、Cr:0.8質量%、Mo:2.0質量%、Ni+Cu:2.0質量%と、残部がFe及び不可避免の不純物となるように各元素を融解させ、冷やし金を有する鋳型に流し込んで急冷し、凝固させてチル鋳鉄を得た。得られたチル鋳鉄を研磨することにより、比較例6のカムロブ材を得た。

[0068] (比較例7)

二次焼結後に、C:0.8質量%と、残部がFe及び不可避免の不純物からなる鉄系合金粉末を調製し、実施例1の製造方法と同様にして比較例7のカムロブ材を得た。

[0069] (評価方法)

各実施例及び各比較例により得られたカムロブについて、成分組成を表1に示す。また、各実施例及び各比較例により得られたカムロブについて、内周面及び外周面の残留応力、接合トルク、カムロブ肉厚限度、密度、外周面のロックウェル硬さHRC、ピッチング発生回数、内部応力分布、ピッチング発生回数測定試験前後のオーステナイト量を測定した。その結果を表2に示す。

[0070] 内周面及び外周面の残留応力は、X線応力測定により測定した。また、接合トルクは、ネジリ試験(S45Cのエンドピースにカムロブを接合した後、エンドピースを固定し、カムロブをネジリ評価した)により測定した。カムロブ肉厚限度は、カムシャフトを組み立てた後、カムロブ外周を旋盤加工して、割れが生じるカムロブの肉厚を測定した。

[0071] 密度は、カムロブ材の試験片をパラフィンで封孔処理した後、アルキメデス法によって測定した。また、外周面のロックウェル硬さHRCは、ロックウェル硬度計により、Cスケールにて、カムロブ材の試験片のカムノーズ部の外周を5点計測し、その平均値を算出した。

[0072] ピッチング発生回数の試験は以下のように行った。図3に示す二円筒接触試験機

により、各試験片のピッチング発生回数を測定した。各試験片4を一定速度に回転させ(矢印41)、相手材である円筒試験片5の回転(矢印51の方向)面を接触させ、両試験片4及び5の接触面に潤滑油6を滴下しながら所定の荷重7をかけて回転させ、ピッチングが発生するまでの回数を計測した。

(試験条件)

測定装置:二円筒接触試験機

回転数:1500rpm

潤滑油:エンジンオイル 10W30

油温:100℃

油量: $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{min}$

荷重:2000N(各実施例-1、比較例6、7)、

2500N(各実施例-1、比較例6、7)、

3000N(各実施例-1、各実施例-2、比較例1-7)

滑り率:0%

相手材:SUJ2

判定方法:AE(アコースティックエミッション)にて、ピッチング発生時の亀裂を検知し、そのときの接触回数をピッチング発生回数とした。このときのピッチング発生回数と荷重との関係(S-N曲線)を図4(A)～図4(E)に示す。

[0073] 内部応力分布については、図5に、カムロブ単体時(a)、シャフト挿入時(b:カムロブにシャフトを焼きバメ接合した場合)におけるカムロブの内周側から外周側までの断面における内部応力分布を示す模式図を示す。

具体的に、図5のA/aは、カムロブ内周面に残留圧縮応力付加処理が無い場合のカムロブ単体における内部応力分布を示す図である。

図5のA/bは、カムロブ内周面に残留圧縮応力付加処理が無い場合のカムロブにシャフトを挿入して焼きバメして接合した時における内部応力分布を示す図である。

図5のB/aは、カムロブ内周面のみに残留圧縮応力付加処理を施した場合のカムロブ単体における内部応力分布を示す図である。

図5のB/bは、カムロブ内周面のみに残留圧縮応力付加処理を施した場合のカム

ロブにシャフトを挿入して焼きバメして接合した時における内部応力分布を示す図である。

図5のC/aは、カムロブ内周面及び外周面に残留圧縮応力付加処理を施した場合のカムロブ単体における内部応力分布を示す図である。

図5のC/bは、カムロブ内周面及び外周面に残留圧縮応力付加処理を施した場合のカムロブにシャフトを挿入して焼きバメして接合した時における内部応力分布を示す図である。

[0074] オーステナイト量の測定は、X線応力測定装置(株式会社リガク製)を用い、試験片の外周部について行った。ピッチング発生回数測定試験前の測定結果を図6(a)に、ピッチング発生回数測定試験後の測定結果を図6(b)に示すとともに、両試験結果を表2に示す。

[0075] (評価結果)

カムロブ肉厚限度試験結果を表2に示す。カムロブ肉厚限度に関しては、実施例1-1、1-2-5-1、5-2の全ての実施例は、カムロブ肉厚限度が0.8-1.3mmであり、1.3mm以下である。

比較例1-5、7は、カムロブ肉厚限度が2.0-2.8mmであり、2.0mm以上である。

本発明の実施例1-1、1-2-5-1、5-2の全ての実施例は、比較例のうちカムロブ肉厚限度が最も小さい比較例1の2.0mmのものより約1/2.5(実施例4-1)-1/1.5(実施例2-1)程度、カムロブ肉厚限度を小さくすることが出来る。

これは、カムロブの内周面に残留圧縮応力を付加したことにより、カムロブとシャフトの接合により発生する引張応力が、差し引かれて少なくなり、カムロブの耐力(降伏点)と合わせて、割れの発生する肉厚が小さくなる為である。

このことから、本発明の各実施例は、カムロブのベース肉厚を小さくし、また、カムロブの幅を小さくすることができ、カムロブの設計の自由度が増したものである。

また、本発明の各実施例は、締め代を増加させることができ、動的接合トルクを向上させることができる。

[0076] 次いで、内部応力分布について考察する。

図5のA/aについて、シャフトに接合するための内周加工による少量の加工残留圧縮応力が分布している。

図5のA/bについて、シャフト挿入(焼きバメ接合)時は、内周側から外周側にかけて減少傾向に傾斜した引張応力(+)が分布している。

図5のB/aについて、カムロブの内周面に残留圧縮応力(-)を付加した場合は、内周側から外周側にかけて減少傾向に傾斜した圧縮応力(-)が分布している。

図5のB/bについて、シャフト挿入(焼きバメ接合)時は、接合により生じる図5のA/bの内周側から外周側にかけて減少傾向に傾斜した引張応力(+)が重畳されて相殺され、内周側は圧縮応力(-)が分布し、外周側は引張応力(+)が分布している。

図5のC/aについて、カムロブの内周面及び外周面に残留圧縮応力(-)を付加した場合は内周側と外周側には圧縮応力(-)が分布しており、内周側と外周側のほぼ中間点である内部においても、内周側と外周側に比較して少ない同様の圧縮応力(-)が分布している。

図5のC/bについて、シャフト挿入(焼きバメ接合)時は、接合により生じる図5のA/bの内周側から外周側にかけて減少傾向に傾斜した引張応力(+)が重畳されて相殺され内周側と外周側には圧縮応力(-)が分布しており、内周側と外周側のほぼ中間点である内部においては残留応力が(0)生じていない。

上述の通り、カムロブの内周面又はカムロブの内周面及び外周面に残留圧縮応力(-)を付加した後に、シャフトを挿入(焼きバメ接合)して接合した各実施例は、表2の「カムロブ肉厚限度」に示されている通り、比較例よりも「カムロブ肉厚限度」を小さくすることが出来る効果を有していることが明らかになった。

[0077] カムロブの外周面14に残留圧縮応力付加処理を行った各実施例-2では、図4(A)ー図4(E)に示すように外周面14に残留圧縮応力付加処理を行っていない各実施例-1及び比較例1ー5と比較してピッチング発生回数が向上している。これは、外周面14に残留圧縮応力を付加することにより疲労強度が向上したためである。

図5のC/bに示された内部応力分布を有する、カムロブの内周面及び外周面に残留圧縮応力(-)を付加した後に、シャフトを挿入(焼きバメ接合)して接合した各実施

例-2は、表2の「ピッチング発生回数」に示されている通り、各実施例-1及び各比較例よりも「ピッチング発生回数」を増加させることが出来る効果を有していることが明らかになった。

[0078] 各比較例は、各実施例に比べて、ピッチング発生回数測定試験前のオーステナイト量が少ない。また、各実施例は、ピッチング発生回数測定試験の前後でオーステナイト量が減少しているのに対し、比較例6, 7では、試験前後でオーステナイト量がほぼ変化していない。

[0079] [表1]

	C	N i	M o	S i	M n	C r	F e
実施例 1	0. 8	3. 5	0. 3	—	—	—	残部
実施例 2	0. 8	2. 0	—	—	—	—	残部
実施例 3	0. 8	0. 5	—	—	—	—	残部
実施例 4	0. 8	4. 5	—	—	—	—	残部
実施例 5	0. 8	3. 5	1. 0	—	—	—	残部
比較例 1	実施例 1 と同様						
比較例 2	実施例 2 と同様						
比較例 3	実施例 3 と同様						
比較例 4	実施例 4 と同様						
比較例 5	実施例 5 と同様						
比較例 6	3. 4	2. 0 (N i +C u)	2. 0	2. 0	0. 7	0. 8	残部
比較例 7	0. 8	—	—	—	—	—	残部

※単位：質量%

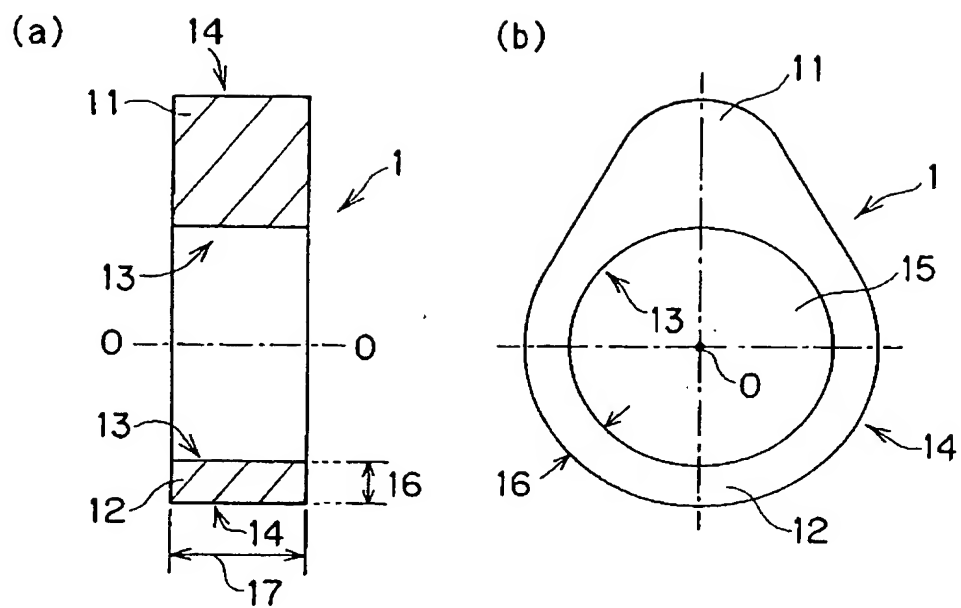
[0080] [表2]

	残留応力 [MPa]		接合 トルク [N・m]	カムロブ 肉厚限度 [mm]	密度 [g/cm3]	硬さ [HRC]	ピッチング発生回数 [回]			オーステナイト量 [体積%]	
							荷重				
	内周面	外周面					2000[N]	2500[N]	3000[N]	試験前	試験後
実施例1-1	-310	(104)	325	1.0	7.47	52.0	1.1×10 ⁷	4.7×10 ⁶	2.1×10 ⁶	34.0	14.2
実施例1-2	-380	-410	312	1.0	7.47	52.0	-	-	2.5×10 ⁶	32.5	11.5
実施例2-1	-380	(106)	310	1.3	7.45	51.5	7.1×10 ⁶	3.1×10 ⁶	1.4×10 ⁶	18.0	7.7
実施例2-2	-320	-350	308	1.1	7.45	51.5	-	-	1.5×10 ⁶	16.8	8.5
実施例3-1	-350	(120)	299	1.2	7.42	51.0	3.5×10 ⁶	1.6×10 ⁶	6.5×10 ⁵	11.0	4.5
実施例3-2	-400	-415	298	1.1	7.42	51.0	-	-	1.2×10 ⁶	12.0	4.1
実施例4-1	-360	(110)	328	0.8	7.51	54.0	1.9×10 ⁷	8.5×10 ⁶	3.7×10 ⁶	34.3	15.8
実施例4-2	-300	-290	325	0.9	7.51	54.0	-	-	4.5×10 ⁶	32.6	16.5
実施例5-1	-410	(93)	310	0.9	7.46	56.0	8.5×10 ⁶	3.7×10 ⁶	1.7×10 ⁶	28.8	15.1
実施例5-2	-415	-355	315	1.3	7.46	56.0	-	-	2.2×10 ⁶	27.5	13.2
比較例1	-	-	318	2.0	7.47	52.0	-	-	2.1×10 ⁶	33.0	13.0
比較例2	-	-	315	2.5	7.45	51.5	-	-	1.4×10 ⁶	17.3	9.1
比較例3	-	-	305	2.2	7.42	51.0	-	-	6.5×10 ⁵	11.5	3.8
比較例4	-	-	320	2.1	7.51	54.0	-	-	3.7×10 ⁶	31.3	14.9
比較例5	-	-	318	2.3	7.46	56.0	-	-	1.7×10 ⁶	29.3	14.8
比較例6	-	-	-	-	-	46.0	9.2×10 ⁵	4.1×10 ⁵	1.9×10 ⁵	1.6	1.5
比較例7	-	-	288	2.8	7.46	49.0	8.2×10 ⁵	3.7×10 ⁵	1.7×10 ⁵	1.2	1.0

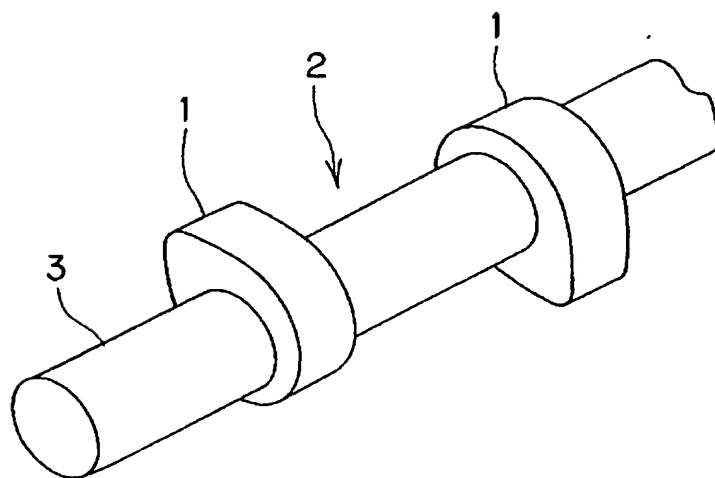
請求の範囲

- [1] カムロブの内周面に残留圧縮応力付加処理を行った後、前記カムロブをシャフトに接合することを特徴とするカムシャフトの製造方法。
- [2] 前記カムロブの内周面の残留圧縮応力が、100MPa以上であることを特徴とする請求項1に記載のカムシャフトの製造方法。
- [3] 前記カムロブの外周面に、更に残留圧縮応力付加処理を行った後、前記カムロブを前記シャフトに接合することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のカムシャフトの製造方法。
- [4] 前記カムロブの外周面の残留圧縮応力が、100MPa以上であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載のカムシャフトの製造方法。
- [5] 前記残留圧縮応力付加処理が、ショットピーニング処理、高周波焼入処理、バレル研磨処理、浸炭焼入処理又は浸炭窒化处理の少なくともいずれかであることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載のカムシャフトの製造方法。
- [6] 内周面に残留圧縮応力付加処理が施されたカムロブを有することを特徴とするカムシャフト。
- [7] 内周面に残留圧縮応力付加処理が施されたことを特徴とするカムロブ材。

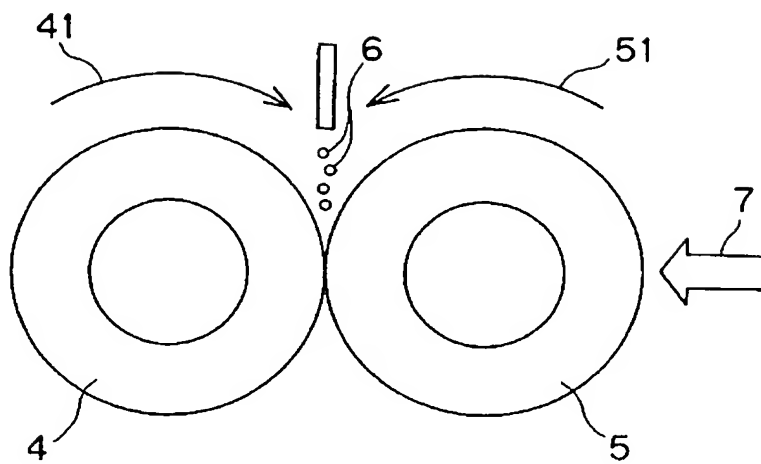
[図1]



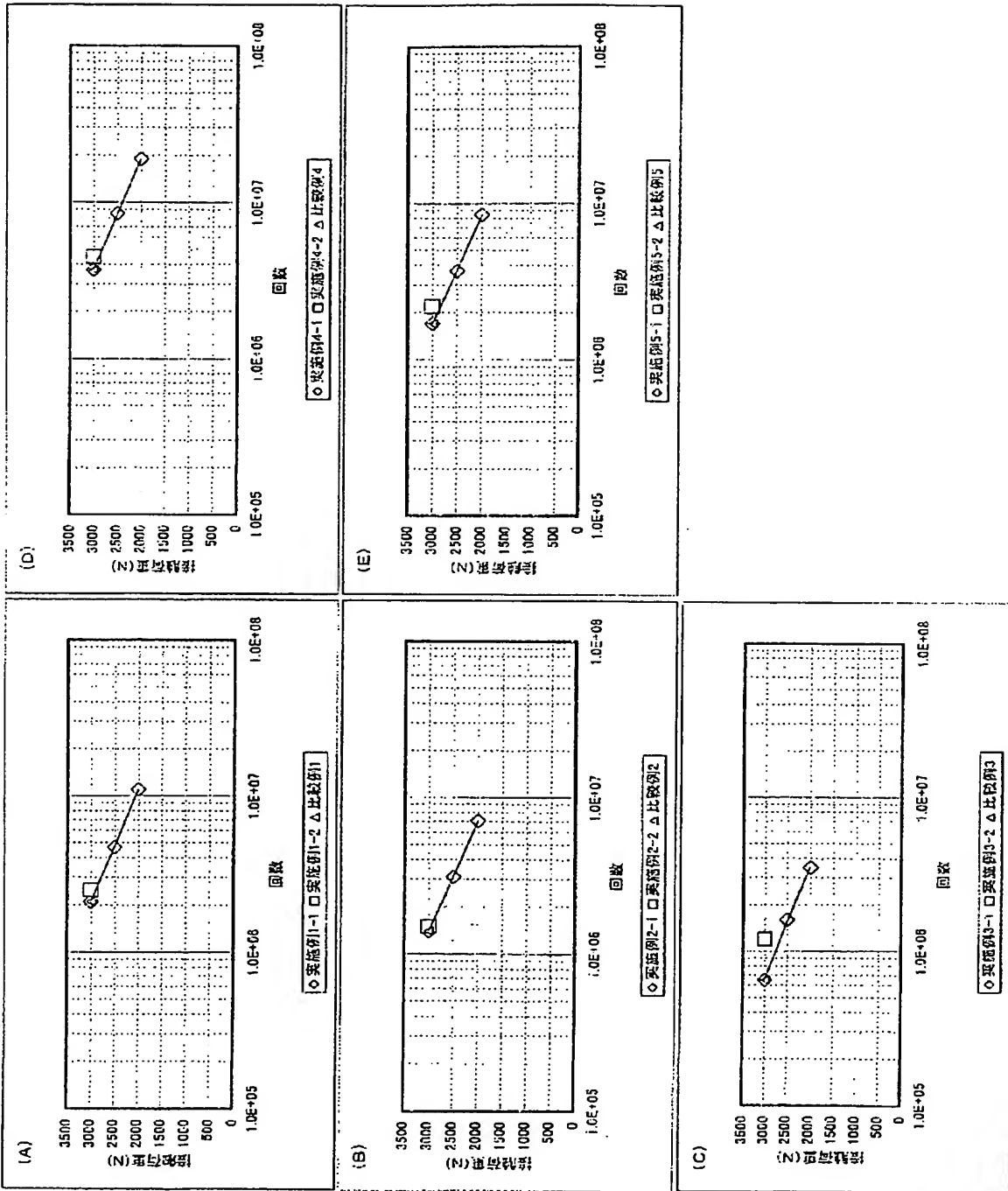
[図2]



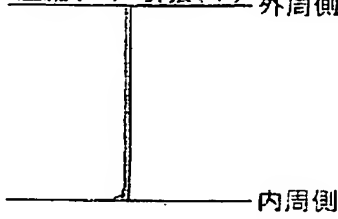
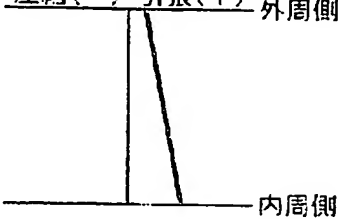
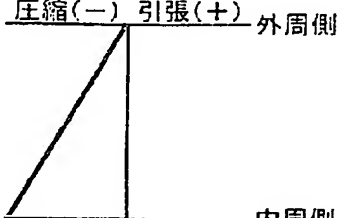
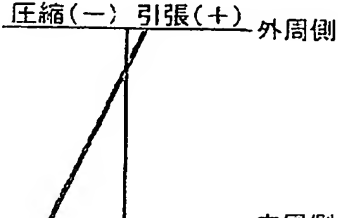
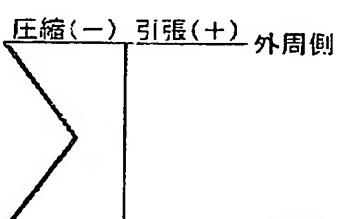
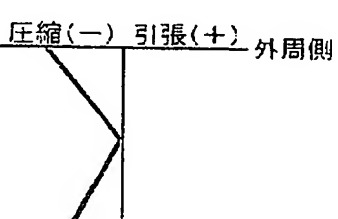
[図3]



[図4]

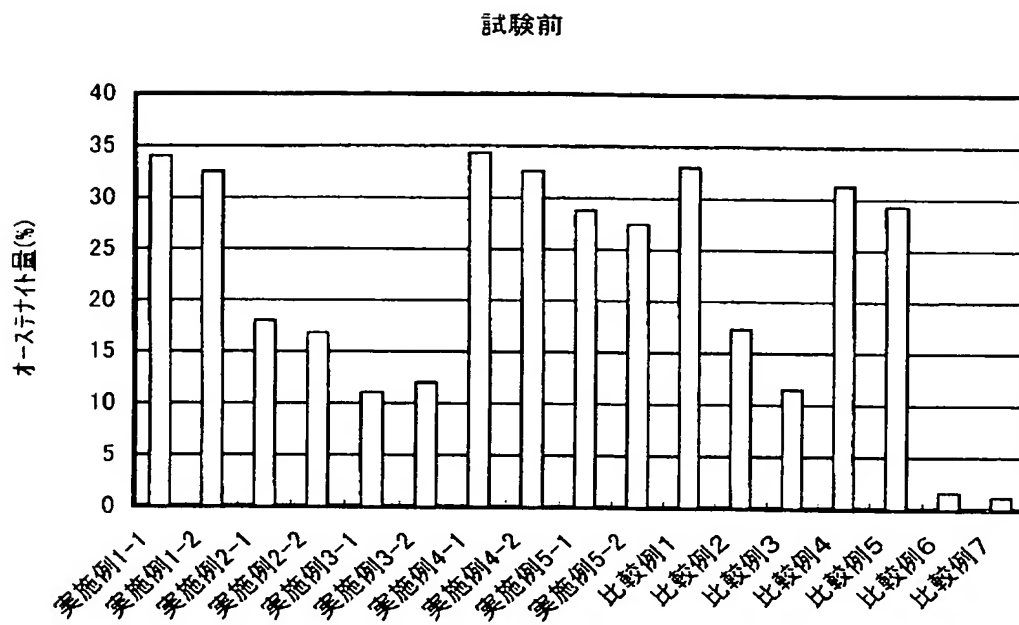


[図5]

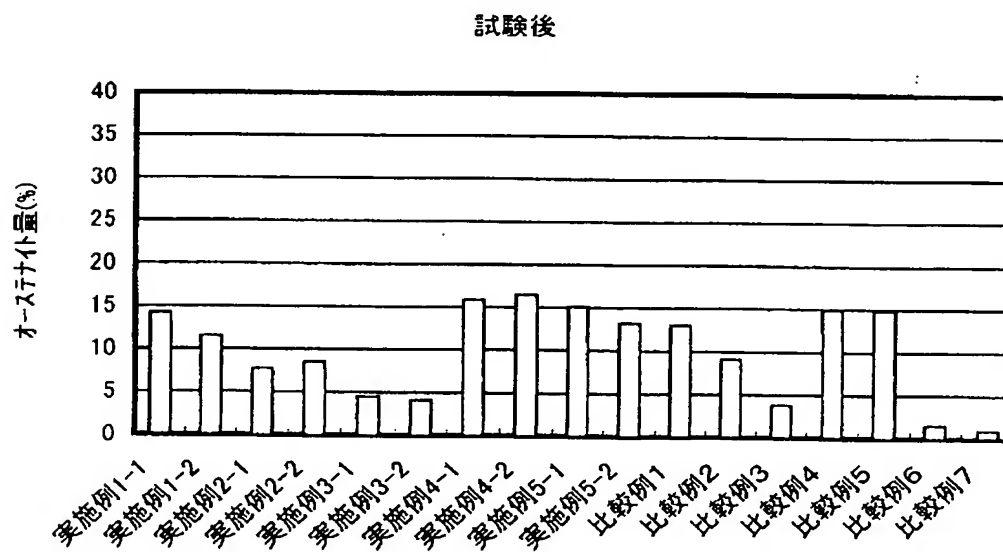
状態 残留圧縮応力		a	b
		カムロブ単体時	シャフト挿入時
A	無し		
B	内周面		
C	内周面および外周面		

[図6]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016046

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ F01L1/04, F16H53/02, C21D9/30, B22F3/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ F01L1/04, F16H53/02, C21D9/30, B22F3/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-4880 A (Mercedes-Benz AG.), 12 January, 1996 (12.01.96), Par Nos. [0007], [0008], [0016] to [0019]; Figs. 3, 5, 7 & DE 4420092 A1 & US 5737975 A & US 6006429 A	1-7
A	JP 11-229823 A (NSK Ltd.), 24 August, 1999 (24.08.99), Par Nos. [0002] to [0013] (Family: none)	1-7
A	JP 2002-266983 A (OTICS Corp.), 18 September, 2002 (18.09.02), Par No. [0014] (Family: none)	5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 January, 2005 (04.01.05)Date of mailing of the international search report
25 January, 2005 (25.01.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

International application No.

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷

F01L1/04, F16H53/02, C21D9/30, B22F3/24

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷

F01L1/04, F16H53/02, C21D9/30, B22F3/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 8-4880 A (メルセデス・ベンツ・アクチエンゲゼルシャフト) 1996. 01. 12, 【0007】, 【0008】, 【0016】~【0019】, 図3, 図5, 図7&DE 4420092 A1&US 5737975 A&US 6006429 A	1-7
A	JP 11-229823 A (日本精工株式会社) 1999. 08. 24, 【0002】~【0013】 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2002-266983 A (株式会社オティックス) 2002. 09. 18, 【0014】 (ファミリーなし)	5
A	JP 2001-329807 A (日本精工株式会社) 200	5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04. 01. 2005

国際調査報告の発送日

25. 1. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

久島 弘太郎

3G

9725

電話番号 03-3581-1101 内線 6261

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	1. 11. 30, 【0007】 (ファミリーなし) JP 7-243308 A (トヨタ自動車株式会社) 1995. 09. 19, 【0018】. (ファミリーなし)	5